

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19)世界知的所有権機関
国際事務局(43)国際公開日
2004年6月24日 (24.06.2004)

PCT

(10)国際公開番号
WO 2004/052586 A1

(51)国際特許分類7:

B23K 26/04, B28D 5/00

(21)国際出願番号:

PCT/JP2003/015556

(22)国際出願日:

2003年12月4日 (04.12.2003)

(25)国際出願の言語:

日本語

(26)国際公開の言語:

日本語

(30)優先権データ:

特願2002-355652 2002年12月6日 (06.12.2002) JP

(71)出願人(米国を除く全ての指定国について): 浜松ホトニクス株式会社 (HAMAMATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 Shizuoka (JP).

(72)発明者; および

(75)発明者/出願人(米国についてのみ): 福満憲志 (FUKU-MITSU,Kenshi) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 福世文嗣 (FUKUYO,Fumitsugu) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 久野耕司 (KUNO,Koji) [JP/JP]; 〒435-8558 静岡県 浜松市 市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP).

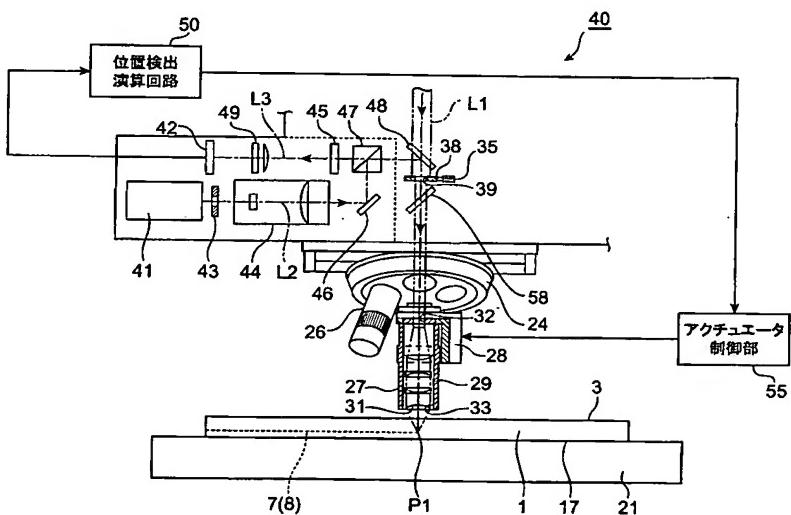
(74)代理人: 長谷川芳樹, 外 (HASEGAWA,Yoshiki et al.); 〒104-0061 東京都 中央区 銀座一丁目10番6号 銀座ファーストビル 創英國際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81)指定国(国内): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NI,

(統葉有)

(54) Title: DEVICE AND METHOD FOR LASER PROCESSING

(54)発明の名称: レーザ加工装置及びレーザ加工方法



50...POSITION DETECTION CALCULATION CIRCUIT
55...ACTUATOR CONTROL SECTION

(57) Abstract: A device and method for laser processing, where laser light for processing can be collected at a predetermined position with excellent accuracy. In the laser processing device, laser light (L1) for processing and laser light (L2) for measuring are collected on the same axis to an object (1) to be processed by a light collection lens (31). At this time, reflection light (L3) of the laser light for measuring reflected by a surface (3) of the object (1) to be processed is detected by light collection position control means (40), and a light collection point (P1) of the laser light (L1) for processing is adjusted to a predetermined position. Thus, because processing by the

WO 2004/052586 A1

(統葉有)



NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

TR), OAPI 特許 (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

- (84) 指定国(広域): ARIPO 特許 (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア特許 (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK,

添付公開書類:

- 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

laser light (L1) for processing and measurement of a displacement of the surface (3) by the laser light (L2) for measuring are performed on the same axis, the light collection point (P1) of the laser light (L1) for processing is prevented from being displaced from a predetermined position by vibration of a stage (21). As a consequence, the laser light (L1) for processing can be collected with excellent accuracy at a predetermined position.

- (57) 要約: 加工用レーザ光を所定の位置に精度良く集光し得るレーザ加工装置及びレーザ加工方法を提供する。レーザ加工装置においては、加工用レーザ光 L1 と測距用レーザ光 L2 とが同一の軸線上で集光レンズ 31 により加工対象物 1 に向けて集光される。このとき、集光点位置制御手段 40 によって、加工対象物 1 の表面 3 で反射された測距用レーザ光の反射光 L3 が検出され、加工用レーザ光 L1 の集光点 P1 が所定の位置に制御される。このように、加工用レーザ光 L1 による加工と、測距用レーザ光 L2 による表面 3 の変位の測定とが同一の軸線上で行われるため、ステージ 21 の振動などによって加工用レーザ光 L1 の集光点 P1 が所定の位置からずれるのを防止することができる。したがって、加工用レーザ光 L1 を所定の位置に精度良く集光することが可能になる。

明細書

レーザ加工装置及びレーザ加工方法

技術分野

【0001】 本発明は、レーザ光を照射することで加工対象物を加工するためのレーザ加工装置及びレーザ加工方法に関する。

背景技術

【0002】 従来のレーザ加工装置には、加工対象物を加工するためのレーザ光を集光する集光レンズに対し、加工対象物の表面高さを測定する測定手段（接触式変位計や超音波距離計等）を所定の間隔をもって並設させたものがある。（例えば、特開2002-219591号公報の図8～図10参照）。このようなレーザ加工装置では、加工対象物の表面に沿ってレーザ光をスキャンする際に、測定手段により加工対象物の表面高さを測定し、その測定点が集光レンズの直下に到達したときに、その表面高さの測定値に基づいて集光レンズと加工対象物の表面との距離が一定となるように集光レンズをその光軸方向に駆動する。これにより、加工対象物の表面が凸凹していても、レーザ光の集光点を常に加工対象物の表面に位置させてレーザ光を照射することができる。

発明の開示

【0003】 しかしながら、上述したようなレーザ加工装置にあっては、次のような課題が存在する。すなわち、集光レンズと測定手段とが所定の間隔をもつて並設されているため、加工対象物を載置するステージの振動などによって、集光レンズ直下における加工対象物の実際の表面高さと測定手段による測定値との間に誤差を生じてしまい、レーザ光の集光点の位置が加工対象物の表面からはずれるおそれがある。

【0004】 そこで、本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、加工対象物を加工するためのレーザ光を所定の位置に精度良く集光することのできるレーザ加工装置及びレーザ加工方法を提供することを目的とする。

【0005】 上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第1のレーザ光を照射し、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光する集光レンズと、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物の内部における第1のレーザ光の集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とする。

【0006】 このレーザ加工装置においては、多光子吸収による改質領域を形成するための第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とが同一の軸線上において集光レンズにより加工対象物に向けて集光される。このとき、集光点位置制御手段によって、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光が検出され、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置に制御される。このように、第1のレーザ光による改質領域の形成と、第2のレーザ光によるレーザ光照射面の変位の測定とが同一の軸線上において行われるため、例えば、加工対象物を載置するステージの振動などを原因として、第1のレーザ光の集光点の位置が加工対象物の内部における所定の位置からずれてしまうのを防止することができる。したがって、加工対象物を加工するための第1のレーザ光を所定の位置に精度良く集光することが可能になる。

【0007】 そして、ウェハ状の加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成する場合には集光レンズの開口数を大きくする必要があり、そのため、溶断等のレーザ加工を行う場合に比べて、集光レンズと加工対象物とが近接することになる。このような状態で、従来のレーザ加工装置のように集光レンズの側方に測定手段を並設させることは装置構成上極めて困難であるが、本発明に係るレーザ加工装置によれば、そのような困難な構成を採用することも不要になる。

5

10

【0008】 また、レーザ光照射面は、加工対象物の集光レンズ側の表面であり、集光点位置制御手段は、第1のレーザ光の集光点の位置が集光レンズ側の表面から一定の深さとなるように第1のレーザ光の集光点の位置を制御することが好ましい。これにより、例えば、改質領域を起点として加工対象物を切断する場合に、加工対象物の表面側での切断精度を安定化させることができる。このような表面側での切断精度の安定化は、加工対象物の表面に複数の機能素子が形成され、機能素子毎に加工対象物を切断する場合には、機能素子の損傷を防止可能であるため特に有効である。なお、機能素子とは、フォトダイオード等の受光素子やレーザダイオード等の発光素子、或いは回路として形成された回路素子等を意味する。

15

【0009】 また、集光点位置制御手段は、集光レンズと加工対象物との距離を変化させることで、加工対象物の内部における第1のレーザ光の集光点の位置を制御することが好ましい。すなわち、集光レンズ及び加工対象物の少なくとも一方を移動させることで、第1のレーザ光の集光点を加工対象物の内部における所定の位置に合わせることが可能になる。

20

【0010】 また、第2のレーザ光の反射光の光路上には、第2のレーザ光の反射光を通過させ、レーザ光照射面で反射された第1のレーザ光の反射光を遮断するフィルタが設けられていることが好ましい。このフィルタを採用することで、集光点位置検出手段は、第1のレーザ光の反射光に影響されることなく第2のレーザ光の反射光を正確に検出することができ、第1のレーザ光の集光点の位置精度をより一層向上させることができることになる。

25

【0011】 また、本発明に係るレーザ加工装置は、第1のレーザ光を照射して加工対象物を加工するレーザ加工装置であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光する集光レンズと、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物に対する第1のレーザ光の

集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とする。

【0012】このレーザ加工装置においても、上述した多光子吸収による改質領域を形成するためのレーザ加工装置と同様に、加工対象物を加工するための第1のレーザ光を所定の位置に精度良く集光することができる。

5 【0013】さらに、上記目的を達成するために、本発明に係るレーザ加工方法は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第1のレーザ光を照射し、加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工方法であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、レーザ光照射面
10 で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物の内部における第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする。

15 【0014】また、本発明に係るレーザ加工方法は、第1のレーザ光を照射して加工対象物を加工するレーザ加工方法であって、第1のレーザ光と、加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で加工対象物に向けて集光し、レーザ光照射面で反射された第2のレーザ光の反射光を検出することにより、加工対象物に対する第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする。

図面の簡単な説明

20 【0015】図1は、本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工中の加工対象物の平面図である。

【0016】図2は、図1に示す加工対象物のII-II線に沿った断面図である。
。

【0017】図3は、本実施形態に係るレーザ加工方法によるレーザ加工後の加工対象物の平面図である。

25 【0018】図4は、図3に示す加工対象物のIV-IV線に沿った断面図である。
。

【0019】 図5は、図3に示す加工対象物のV-V線に沿った断面図である。

【0020】 図6は、本実施形態に係るレーザ加工方法により切断された加工対象物の平面図である。

5 【0021】 図7は、本実施形態に係るレーザ加工方法における電界強度とクラックスポットの大きさとの関係を示すグラフである。

【0022】 図8は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第1工程における加工対象物の断面図である。

10 【0023】 図9は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第2工程における加工対象物の断面図である。

【0024】 図10は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第3工程における加工対象物の断面図である。

15 【0025】 図11は、本実施形態に係るレーザ加工方法の第4工程における加工対象物の断面図である。

【0026】 図12は、本実施形態に係るレーザ加工方法により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。

【0027】 図13は、本実施形態に係るレーザ加工方法におけるレーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。

【0028】 図14は、本実施形態に係るレーザ加工装置の概略構成図である。

20 【0029】 図15は、図14に示すレーザ加工装置の集光点位置制御手段を示す概略構成図である。

【0030】 図16は、測距用レーザ光の集光点が加工対象物の表面上に位置する場合の測距用レーザ光の反射光の集光像パターンを説明するための図である。

25 【0031】 図17は、測距用レーザ光の集光点が加工対象物の表面の先に位置する場合の測距用レーザ光の反射光の集光像パターンを説明するための図であ

る。

【0032】 図18は、測距用レーザ光の集光点が加工対象物の表面の手前に位置する場合の測距用レーザ光の反射光の集光像パターンを説明するための図である。

5 【0033】 図19は、図14に示すレーザ加工装置による加工対象物の加工の様子を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

【0034】 以下、本発明に係るレーザ加工装置及びレーザ加工方法の好適な実施形態について、図面を参照して詳細に説明する。

10 【0035】 本実施形態に係るレーザ加工装置は、ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせてレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するものである。そこで、本実施形態に係るレーザ加工装置の説明に先立って、多光子吸収による改質領域の形成について説明する。

15 【0036】 材料の吸収のバンドギャップ E_g よりも光子のエネルギー $h\nu$ が小さいと光学的に透明となる。よって、材料に吸収が生じる条件は $h\nu > E_g$ である。しかし、光学的に透明でも、レーザ光の強度を非常に大きくすると $n h\nu > E_g$ の条件 ($n = 2, 3, 4, \dots$) で材料に吸収が生じる。この現象を多光子吸収という。パルス波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点のピークパワー密度 (W/cm^2) で決まり、例えばピークパワー密度が $1 \times 10^8 (\text{W}/\text{cm}^2)$ 以上的条件で多光子吸収が生じる。ピークパワー密度は、(集光点におけるレーザ光の1パルス当たりのエネルギー) \div (レーザ光のビームスポット断面積 \times パルス幅) により求められる。また、連続波の場合、レーザ光の強度はレーザ光の集光点の電界強度 (W/cm^2) で決まる。

20 【0037】 このような多光子吸収を利用する本実施形態に係るレーザ加工の原理について、図1～図6を参照して説明する。図1はレーザ加工中の加工対象物1の平面図であり、図2は図1に示す加工対象物1のII-II線に沿った断面図

であり、図3はレーザ加工後の加工対象物1の平面図であり、図4は図3に示す加工対象物1のIV-IV線に沿った断面図であり、図5は図3に示す加工対象物1のV-V線に沿った断面図であり、図6は切断された加工対象物1の平面図である。

5 【0038】 図1及び図2に示すように、加工対象物1の表面3には、加工対象物1を切断すべき所望の切断予定ライン5がある。切断予定ライン5は直線状に延びた仮想線である（加工対象物1に実際に線を引いて切断予定ライン5としてもよい）。本実施形態に係るレーザ加工は、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して改質領域7を形成する。なお、集光点とはレーザ光Lが集光した箇所のことである。

10 【0039】 レーザ光Lを切断予定ライン5に沿って（すなわち矢印A方向に沿って）相対的に移動させることにより、集光点Pを切断予定ライン5に沿って移動させる。これにより、図3～図5に示すように改質領域7が切断予定ライン5に沿って加工対象物1の内部にのみ形成され、この改質領域7でもって切断予定部8が形成される。本実施形態に係るレーザ加工方法は、加工対象物1がレーザ光Lを吸収することにより加工対象物1を発熱させて改質領域7を形成するのではない。加工対象物1にレーザ光Lを透過させ加工対象物1の内部に多光子吸収を発生させて改質領域7を形成している。よって、加工対象物1の表面3ではレーザ光Lがほとんど吸収されないので、加工対象物1の表面3が溶融することはない。

15 【0040】 加工対象物1の切断において、切断する箇所に起点があると加工対象物1はその起点から割れるので、図6に示すように比較的小さな力で加工対象物1を切断することができる。よって、加工対象物1の表面3に不必要的割れを発生させることなく加工対象物1の切断が可能となる。

20 【0041】 なお、切断予定部を起点とした加工対象物の切断には、次の2通りが考えられる。1つは、切断予定部形成後、加工対象物に人為的な力が印加さ

れることにより、切断予定部を起点として加工対象物が割れ、加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが大きい場合の切断である。人為的な力が印加されるとは、例えば、加工対象物の切断予定部に沿って加工対象物に曲げ応力やせん断応力を加えたり、加工対象物に温度差を与えることにより熱応力を発生させたりすることである。他の1つは、切断予定部を形成することにより、切断予定部を起点として加工対象物の断面方向（厚さ方向）に向かって自然に割れ、結果的に加工対象物が切断される場合である。これは、例えば加工対象物の厚さが小さい場合には、1列の改質領域により切断予定部が形成されることで可能となり、加工対象物の厚さが大きい場合には、厚さ方向に複数列形成された改質領域により切断予定部が形成されることで可能となる。なお、この自然に割れる場合も、切断する箇所において、切断予定部が形成されていない部位に対応する部分の表面上にまで割れが先走ることがなく、切断予定部を形成した部位に対応する部分のみを割断することができるので、割断を制御よくすることができる。近年、シリコンウェハ等の加工対象物の厚さは薄くなる傾向があるので、このような制御性のよい割断方法は大変有効である。

【0042】さて、本実施形態において多光子吸収により形成される改質領域としては、次の(1)～(3)がある。

【0043】(1) 改質領域が1つ又は複数のクラックを含むクラック領域の場合

加工対象物（例えばガラスやLiTaO₃からなる圧電材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²) 以上で且つパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射する。このパルス幅の大きさは、多光子吸収を生じさせつつ加工対象物の表面に余計なダメージを与えずに、加工対象物の内部にのみクラック領域を形成できる条件である。これにより、加工対象物の内部には多光子吸収による光学的損傷という現象が発生する。この光学的損傷により加工対象物の内部に熱ひずみが誘起され、これにより加工対象物の内部に

5

クラック領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えば1 n s ~ 200 n s が好ましい。なお、多光子吸収によるクラック領域の形成は、例えば、第45回レーザ熱加工研究会論文集(1998年. 12月)の第23頁～第28頁の「固体レーザー高調波によるガラス基板の内部マーキング」に記載されている。

【0044】 本発明者は、電界強度とクラックの大きさとの関係を実験により求めた。実験条件は次ぎの通りである。

(A) 加工対象物：パイレックス（登録商標）ガラス（厚さ700 μm）

(B) レーザ

10

光源：半導体レーザ励起Nd:YAGレーザ

波長：1064 nm

レーザ光スポット断面積：3.14 × 10⁻⁸ cm²

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

15

パルス幅：30 n s

出力：出力<1 mJ/パルス

レーザ光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

20

レーザ光波長に対する透過率：60パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm/秒

【0045】 なお、レーザ光品質がTEM₀₀とは、集光性が高くレーザ光の波長程度まで集光可能を意味する。

25

【0046】 図7は上記実験の結果を示すグラフである。横軸はピークパワー密度であり、レーザ光がパルスレーザ光なので電界強度はピークパワー密度で表される。縦軸は1パルスのレーザ光により加工対象物の内部に形成されたクラッ

ク部分（クラックスポット）の大きさを示している。クラックスポットが集まりクラック領域となる。クラックスポットの大きさは、クラックスポットの形状のうち最大の長さとなる部分の大きさである。グラフ中の黒丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が100倍、開口数（NA）が0.80の場合である。一方、グラフ中の白丸で示すデータは集光用レンズ（C）の倍率が50倍、開口数（NA）が0.55の場合である。ピークパワー密度が 10^{11} （W/cm²）程度から加工対象物の内部にクラックスポットが発生し、ピークパワー密度が大きくなるに従いクラックスポットも大きくなることが分かる。

【0047】 次に、本実施形態に係るレーザ加工において、クラック領域形成による加工対象物の切断のメカニズムについて図8～図11を用いて説明する。

図8に示すように、多光子吸収が生じる条件で加工対象物1の内部に集光点Pを合わせてレーザ光Lを加工対象物1に照射して切断予定ラインに沿って内部にクラック領域9を形成する。クラック領域9は1つ又は複数のクラックを含む領域である。このクラック領域9でもって切断予定部が形成される。図9に示すようにクラック領域9を起点として（すなわち、切断予定部を起点として）クラックがさらに成長し、図10に示すようにクラックが加工対象物1の表面3と裏面17に到達し、図11に示すように加工対象物1が割れることにより加工対象物1が切断される。加工対象物の表面と裏面に到達するクラックは自然に成長する場合もあるし、加工対象物に力が印加されることにより成長する場合もある。

【0048】 （2）改質領域が溶融処理領域の場合

加工対象物（例えばシリコンのような半導体材料）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 （W/cm²）以上で且つパルス幅が $1 \mu s$ 以下の条件でレーザ光を照射する。これにより加工対象物の内部は多光子吸収によって局所的に加熱される。この加熱により加工対象物の内部に溶融処理領域が形成される。溶融処理領域とは一旦溶融後再固化した領域や、まさに溶融状態の領域や、溶融状態から再固化する状態の領域であり、相変化した領域や結晶構

造が変化した領域ということもできる。また、溶融処理領域とは単結晶構造、非晶質構造、多結晶構造において、ある構造が別の構造に変化した領域といふこともできる。つまり、例えば、単結晶構造から非晶質構造に変化した領域、単結晶構造から多結晶構造に変化した領域、単結晶構造から非晶質構造及び多結晶構造を含む構造に変化した領域を意味する。加工対象物がシリコン単結晶構造の場合、溶融処理領域は例えれば非晶質シリコン構造である。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えれば 1 ns ~ 200 ns が好ましい。

【0049】 本発明者は、シリコンウェハの内部で溶融処理領域が形成されることを実験により確認した。実験条件は次の通りである。

(A) 加工対象物：シリコンウェハ（厚さ 350 μm、外径 4 インチ）

(B) レーザ

光源：半導体レーザ励起 Nd : YAG レーザ

波長：1064 nm

15 レーザ光スポット断面積：3. 14×10^{-8} cm²

発振形態：Qスイッチパルス

繰り返し周波数：100 kHz

パルス幅：30 ns

出力：20 μJ/パルス

20 レーザ光品質：TEM₀₀

偏光特性：直線偏光

(C) 集光用レンズ

倍率：50 倍

N. A. : 0. 55

25 レーザ光波長に対する透過率：60 パーセント

(D) 加工対象物が載置される載置台の移動速度：100 mm/秒

【0050】 図12は、上記条件でのレーザ加工により切断されたシリコンウェハの一部における断面の写真を表した図である。シリコンウェハ11の内部に溶融処理領域13が形成されている。なお、上記条件により形成された溶融処理領域13の厚さ方向の大きさは100μm程度である。

5 【0051】 溶融処理領域13が多光子吸収により形成されたことを説明する。図13は、レーザ光の波長とシリコン基板の内部の透過率との関係を示すグラフである。ただし、シリコン基板の表面側と裏面側それぞれの反射成分を除去し、内部のみの透過率を示している。シリコン基板の厚さtが50μm、100μm、200μm、500μm、1000μmの各々について上記関係を示した。

10 【0052】 例えば、Nd:YAGレーザの波長である1064nmにおいて、シリコン基板の厚さが500μm以下の場合、シリコン基板の内部ではレーザ光が80%以上透過することが分かる。図12に示すシリコンウェハ11の厚さは350μmであるので、多光子吸収による溶融処理領域13はシリコンウェハの中心付近、つまり表面から175μmの部分に形成される。この場合の透過率は、厚さ200μmのシリコンウェハを参考にすると、90%以上なので、レーザ光がシリコンウェハ11の内部で吸収されるのは僅かであり、ほとんどが透過する。このことは、シリコンウェハ11の内部でレーザ光が吸収されて、溶融処理領域13がシリコンウェハ11の内部に形成（つまりレーザ光による通常の加熱で溶融処理領域が形成）されたものではなく、溶融処理領域13が多光子吸収20により形成されたことを意味する。多光子吸収による溶融処理領域の形成は、例えば、溶接学会全国大会講演概要第66集（2000年4月）の第72頁～第73頁の「ピコ秒パルスレーザによるシリコンの加工特性評価」に記載されている。
。

25 【0053】 なお、シリコンウェハは、溶融処理領域でもって形成される切断予定部を起点として断面方向に向かって割れを発生させ、その割れがシリコンウェハの表面と裏面とに到達することにより、結果的に切断される。シリコンウェ

ハの表面と裏面に到達するこの割れは自然に成長する場合もあるし、シリコンウェハに力が印加されることにより成長する場合もある。なお、切断予定部からシリコンウェハの表面と裏面とに割れが自然に成長する場合には、切断予定部を形成する溶融処理領域が溶融している状態から割れが成長する場合と、切断予定部を形成する溶融処理領域が溶融している状態から再固化する際に割れが成長する場合とのいずれもある。ただし、どちらの場合も溶融処理領域はシリコンウェハの内部のみに形成され、切断後の切断面には、図12のように内部にのみ溶融処理領域が形成されている。加工対象物の内部に溶融処理領域でもって切断予定部を形成すると、割断時、切断予定部ラインから外れた不必要な割れが生じにくくないので、割断制御が容易となる。

【0054】(3) 改質領域が屈折率変化領域の場合

加工対象物（例えばガラス）の内部に集光点を合わせて、集光点における電界強度が 1×10^8 (W/cm²) 以上で且つパルス幅が1 ns 以下の条件でレーザ光を照射する。パルス幅を極めて短くして、多光子吸収を加工対象物の内部に起こさせると、多光子吸収によるエネルギーが熱エネルギーに転化せずに、加工対象物の内部にはイオン価数変化、結晶化又は分極配向等の永続的な構造変化が誘起されて屈折率変化領域が形成される。電界強度の上限値としては、例えば 1×10^{12} (W/cm²) である。パルス幅は例えば1 ns 以下が好ましく、1 ps 以下がさらに好ましい。多光子吸収による屈折率変化領域の形成は、例えば、第42回レーザ熱加工研究会論文集（1997年、11月）の第105頁～第111頁の「フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成」に記載されている。

【0055】次に、本実施形態に係るレーザ加工装置について、図14及び図15を参照して説明する。

【0056】図14に示すように、レーザ加工装置20は、ウェハ状の加工対象物1の内部に集光点P1を合わせて加工用レーザ光（第1のレーザ光）L1を

照射することで、加工対象物 1 の内部に多光子吸収による改質領域 7 を形成し、この改質領域 7 でもって、加工対象物 1 の表面 3 に沿って延在する切断予定部 8 を形成する装置である。ここで、加工対象物 1 はシリコンウェハ等の半導体ウェハであり、改質領域 7 は溶融処理領域である。

【0057】 このレーザ加工装置 20 は、加工対象物 1 が載置されるステージ 21 を有しており、このステージ 21 は、上下方向を Z 軸方向として X 軸方向、Y 軸方向、Z 軸方向の各方向に移動可能となっている。ステージ 21 の上方には、加工用レーザ光 L1 を発生するレーザ光源 22 等を収容した筐体 23 が配置されている。このレーザ光源 22 は、例えば Nd : YAG レーザであり、真下に位置するステージ 21 上の加工対象物 1 に向けてパルス幅 $1 \mu s$ 以下のパルスレーザ光である加工用レーザ光 L1 を出射する。

【0058】 筐体 23 の下端面には電動レボルバ 24 が取り付けられており、この電動レボルバ 24 には、加工対象物 1 を観察するための観察用対物レンズ 26 と、加工用レーザ光 L1 を集光するための加工用対物レンズ 27 とが装着されている。各対物レンズ 26, 27 の光軸は、電動レボルバ 24 の回転によって加工用レーザ光 L1 の光軸に一致させられる。なお、加工用対物レンズ 27 と電動レボルバ 24との間には、ピエゾ素子を用いたアクチュエータ 28 が介在されており、このアクチュエータ 28 によって加工用対物レンズ 27 の位置が Z 軸方向（上下方向）に微調整される。

【0059】 図 15 に示すように、加工用対物レンズ 27 は円筒形状のレンズホルダ 29 を有し、このレンズホルダ 29 は、その内部において複数のレンズを組み合わせてなる開口数「0.80」の集光レンズ 31 を保持している。そして、レンズホルダ 29 の上端部には、集光レンズ 31 に対する加工用レーザ光 L1 の入射瞳として入射開口 32 が形成され、レンズホルダ 29 の下端部には加工用レーザ光 L1 の出射開口 33 が形成されている。このように構成された加工用対物レンズ 27 によって加工用レーザ光 L1 が集光され、集光レンズ 31 による集

光点 P 1 での加工用レーザ光 L 1 のピークパワー密度は 1×10^8 (W/ cm^2) 以上となる。

【0060】 また、筐体 23 内における加工用レーザ光 L 1 の光軸上には、図 14 に示すように、レーザ光源 22 で発生したレーザ光 L 1 のビームサイズを拡大するビームエキスパンダ 34 と、レーザ光 L 1 の出力や偏光を調整するレーザ光調整光学系 36 と、レーザ光 L 1 の通過又は遮断を行う電磁シャッタ 37 と、レーザ光 L 1 のビームサイズを絞る絞り部材 38 とが上から下にこの順序で配置されている。
5

【0061】 図 15 に示すように、絞り部材 38 は、加工用対物レンズ 27 の入射開口 32 の上方に位置して筐体 23 に取り付けられており、加工用レーザ光 L 1 の光軸上においてこのレーザ光 L 1 を絞って通過させるアーチャ 39 を有している。このアーチャ 39 の開口径は、加工用対物レンズ 27 の入射開口 32 と同径もしくは小さい径に形成されており、アーチャ 39 の中心軸は、絞り部材 38 に設けられた調節ネジ 35 によって入射開口 32 の中心軸に正確に一致させることができる。
10
15

【0062】 このように構成された絞り部材 38 をビームエキスパンダ 34 と加工用対物レンズ 27との間に配置することで、次のような作用・効果を奏する。すなわち、ビームエキスパンダ 34 によりビームサイズを拡大された加工用レーザ光 L 1 は、絞り部材 38 によってアーチャ 39 より大きいレーザ光 L 1 の外周部分がカットされ、これにより、アーチャ 39 を通過した加工用レーザ光 L 1 の径は、加工用対物レンズ 27 の入射開口 32 の径と略同等になる。そのため、入射開口 32 の周囲部分によるレーザ光 L 1 のカット量をほとんどなくして、加工用レーザ光 L 1 の照射によるレンズホルダ 29 の加熱を防止することができる。したがって、レーザ加工中におけるレンズホルダ 29 の加熱を主原因とした加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置変動を小さく抑えることが可能になる
20
25

。

【0063】 さらに、レーザ加工装置20は、加工用レーザ光L1の集光点P1の位置が加工対象物1の表面3から一定の深さとなるように集光点P1の位置を制御する集光点位置制御手段40を有している。この集光点位置検出手段40について、図15～図18を参照して説明する。

5 【0064】 図15に示すように、レーザダイオード等である測距用光源41から出射された測距用レーザ光（第2のレーザ光）L2は、ピンホール43、ビームエキスパンダ44を順次通過した後、ミラー46、ハーフミラー47により順次反射されて、電磁シャッタ37と絞り部材38との間に配置されたダイクロイックミラー48に導かれる。このダイクロイックミラー48により反射された測距用レーザ光L2は、加工用レーザ光L1の光軸上を下方に向かって進行し、絞り部材38のアパーチャ39を通過した後、加工用対物レンズ27の集光レンズ31により集光されて加工対象物1に照射される。なお、加工用レーザ光L1はダイクロイックミラー48を透過する。

10 【0065】 そして、加工対象物1の表面（レーザ光照射面）3で反射された測距用レーザ光の反射光L3は、加工用対物レンズ27の集光レンズ31に再入射して加工用レーザ光L1の光軸上を上方に向かって進行し、絞り部材38のアパーチャ39を通過した後、ダイクロイックミラー48により反射される。このダイクロイックミラー48により反射された測距用レーザ光の反射光L3は、ハーフミラー47、フィルタ45を順次通過する。このフィルタ45は、波長に応じて光を通過させ或いは遮断するものであり、測距用レーザ光の反射光L3を通過させる一方、加工対象物1の表面3や裏面17で反射した加工用レーザ光L1の反射光を遮断する。フィルタ45を通過した測距用レーザ光の反射光L3は、シリンドリカルレンズと平凸レンズとからなる整形光学系49により集光されて、フォトダイオードを4等分してなる4分割位置検出素子42上に照射される。

15 【0066】 この受光素子である4分割位置検出素子42上に集光された測距用レーザ光の反射光L3の集光像パターンは、加工用対物レンズ27の集光レン

ズ3 1による測距用レーザ光L 2の集光点（すなわち、焦点）が加工対象物1の表面3に対してどの位置にあるかによって変化する。ここで、測距用レーザ光L 2の集光点の位置と測距用レーザ光の反射光L 3の集光像パターンとの関係について説明する。

5 【0067】 図16に示すように、測距用レーザ光L 2の集光点P 2が加工対象物1の表面3上に位置する場合には、測距用レーザ光の反射光L 3は、測距用レーザ光L 2と同様の軌跡を辿って加工用対物レンズ2 7の集光レンズ3 1を逆行し、整形光学系4 9を通過して4分割位置検出素子4 2上に真円の集光像パターンFを形成する。

10 【0068】 また、図17に示すように、測距用レーザ光L 2の集光点P 2が加工対象物1の表面3の先（すなわち、加工対象物1の内部）に位置する場合には、測距用レーザ光の反射光L 3は、測距用レーザ光L 2とは異なり拡散しながら加工用対物レンズ2 7の集光レンズ3 1を逆行し、整形光学系4 9を通過して4分割位置検出素子4 2上に縦長の楕円の集光像パターンFを形成する。

15 【0069】 また、図18に示すように、測距用レーザ光L 2の集光点P 2が加工対象物1の表面3の手前に位置する場合には、測距用レーザ光の反射光L 3は、測距用レーザ光L 2とは異なり集光されながら加工用対物レンズ2 7の集光レンズ3 1を逆行し、整形光学系4 9を通過して4分割位置検出素子4 2上に横長の楕円の集光像パターンFを形成する。

20 【0070】 以上のように、4分割位置検出素子4 2上における測距用レーザ光の反射光L 3の集光像パターンFは、測距用レーザ光L 2の集光点P 2の位置に応じて変化する。そのため、4分割位置検出素子4 2からの出力信号（縦方向で対向する受光面からの出力と横方向で対向する受光面からの出力との差）に基づいて、加工対象物1の表面3に対する測距用レーザ光L 2の集光点P 2の位置25 を求めることができる。

【0071】 そこで、集光点位置制御手段4 0は、図15に示すように、位置

検出演算回路 50 及びアクチュエータ制御部 55 を有している。位置検出演算回路 50 は、4 分割位置検出素子 42 からの出力信号に基づいて、加工対象物 1 の表面 3 に対する測距用レーザ光 L2 の集光点 P2 の位置を演算する。そして、アクチュエータ制御部 55 は、位置検出演算回路 50 により求められた集光点 P2 の位置に基づいて、加工用レーザ光 L1 の集光点 P1 の位置が加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さとなるようにレーザ加工中常にアクチュエータ 28 をフィードバック制御し、加工用対物レンズ 27 の位置を上下方向に微調整する。

【0072】 また、図 14 に示すように、レーザ加工装置 20 は、ステージ 2 1 上に載置された加工対象物 1 を観察すべく、観察用可視光を発生する観察用光源 51 を筐体 23 外に有し、CCD カメラ 52 を筐体 23 内に有している。

【0073】 すなわち、観察用光源 51 で発せられた観察用可視光は、光ファイバからなるライトガイド 53 により筐体 23 内に導かれ、視野絞り 54、開口絞り 56、ダイクロイックミラー 57 等を順次通過した後、絞り部材 38 と加工用対物レンズ 27 の入射開口 32 と間に配置されたダイクロイックミラー 58 により反射される。反射された観察用可視光は、加工用レーザ光 L1 の光軸上を下方に向かって進行し、電動レボルバ 24 の回転によって加工用レーザ光 L1 の光軸上に配置された観察用対物レンズ 26 を通過して加工対象物 1 に照射される。なお、加工用レーザ光 L1、測距用レーザ光 L2 及びその反射光 L3 はダイクロイックミラー 58 を透過する。

【0074】 そして、加工対象物 1 の表面 3 で反射された観察用可視光の反射光は、観察用対物レンズ 26 内に再入射して加工用レーザ光 L1 の光軸上を上方に向かって進行し、ダイクロイックミラー 58 により反射される。このダイクロイックミラー 58 により反射された反射光は、ダイクロイックミラー 57 により更に反射されて、フィルタ 59、結像レンズ 61、リレーレンズ 62 を順次通過し、CCD カメラ 52 に入射することになる。

【0075】 この CCD カメラ 52 により撮像された撮像データは全体制御部

5

6 3に取り込まれ、この全体制御部6 3によってTVモニタ6 4に加工対象物1の表面3等の画像が映し出される。なお、全体制御部6 3は、各種処理を実行すると共に、ステージ2 1の移動、電磁レボルバ2 4の回転、電磁シャッタ3 7の開閉、CCDカメラ5 2による撮像等の他、レーザ加工装置2 0の全体の動作を制御するものである。

【0076】 次に、上述したレーザ加工装置2 0によるレーザ加工手順について、図1 9を参照して説明する。ここでは、加工対象物1の表面3に沿ってその表面3から深さDの位置に改質領域7を形成し、この改質領域7でもって切断予定ラインに沿って延在する切断予定部8を形成するものとする。

10

【0077】 まず、ステージ2 1上に加工対象物1を載置し、加工対象物1の改質領域7の形成開始位置と加工用レーザ光L 1の集光点P 1とが一致するようステージ2 1を移動させる。このステージ2 1の初期位置は、加工対象物1の厚さや屈折率、加工用対物レンズ2 7の集光レンズ3 1の開口数等に基づいて決定される。

15

【0078】 続いて、レーザ光源2 2から加工用レーザ光L 1を出射すると共に、測距用レーザ光源4 1から測距用レーザ光L 2を出射し、集光レンズ3 1により集光されたレーザ光L 1、L 2が切断予定ライン上をスキャンするようにステージ2 1をX軸方向やY軸方向に駆動する。このとき、焦点位置制御手段4 0によって、測距用レーザ光の反射光L 3が検出され、加工用レーザ光L 1の集光点P 1の位置が常に加工対象物1の表面3から一定の深さDとなるようにアクチュエータ2 8がフィードバック制御されて、加工用対物レンズ2 7の位置が上下方向に微調整される。

20

【0079】 これにより、図1 9に示すように、加工対象物1の表面3に面振れがあつても、表面3から一定の深さDの位置に改質領域7を形成し、表面3から距離Dをもって表面3の面振れに追従した切断予定部8を形成することができる。このような表面3の面振れに追従した切断予定部8を有する加工対象物1を

その切断予定部 8 に沿って切断すると、加工対象物 1 の表面 3 側での切断精度が安定化する。そのため、シリコンウェハである加工対象物 1 の表面 3 に受光素子や或いは発光素子等の機能素子が複数形成され、この機能素子毎に加工対象物 1 を切断する場合には、切断による機能素子の損傷を防止することが可能になる。

【0080】 そして、加工対象物 1 の内部において裏面 17 側より表面 3 側に近い位置に改質領域 7 を形成すると、表面 3 側での切断精度を向上させることができる。そのため、例えば、平均板厚 $100 \mu m$ のシリコンウェハでは表面から深さ $30 \mu m$ の位置、また、平均板厚 $50 \mu m$ のシリコンウェハでは表面から深さ $10 \mu m$ の位置といったように、表面 3 からの深さが僅か数十 μm の位置に改質領域 7 を形成する場合がある。このような場合に加工対象物 1 の表面 3 に面振れがあつても、レーザ加工装置 20 によれば、表面 3 から改質領域 7 を露出させてしまうようなことなく、表面 3 の面振れに追従した切断予定部 8 を加工対象物 1 の内部に形成することができる。

【0081】 以上説明したようにレーザ加工装置 20 においては、加工用レーザ光 L 1 と測距用レーザ光 L 2 とが同一の軸線上において加工用対物レンズ 27 の集光レンズ 31 により加工対象物 1 に向けて集光される。このとき、集光点位置制御手段 40 によって、加工対象物 1 の表面 3 で反射された測距用レーザ光の反射光 L 3 が検出され、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置が加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さ D の位置に制御される。このように、加工用レーザ光 L 1 による改質領域 7 の形成と、測距用レーザ光 L 2 による表面 3 の変位の測定とが同一の軸線上において行われるため、例えば、加工対象物 1 を載置するステージ 21 の振動などを原因として、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置が一定の深さ D の位置からずれてしまうのを防止することができる。したがって、加工用レーザ光 L 1 を加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さ D の位置に精度良く集光することが可能になる。

【0082】 また、薄い板状の加工対象物 1 の内部に多光子吸収による改質領

5

域 7 を形成する場合には加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 の開口数を「0 . 80」というように大きくする必要があり、そのため、集光レンズ 3 1 と加工対象物 1 とが 10 mm 程度まで近接することになる。このような状態で、表面 3 の変位を測定するためのセンサ等を集光レンズ 3 1 の側方に並設させることは装置構成上極めて困難であるが、レーザ加工装置 2 0 によれば、そのような困難な構成を採用する必要もない。

10

【0083】 また、レーザ加工装置 2 0において、測距用レーザ光の反射光 L 3 の光路上には、この反射光 L 3 を通過させる一方、加工対象物 1 の表面 3 や裏面 1 7 で反射された加工用レーザ光 L 1 の反射光を遮断するフィルタ 4 5 が設けられている。これにより、集光点位置検出手段 4 0 は、加工用レーザ光 L 1 の反射光に影響されることなく測距用レーザ光の反射光 L 3 を正確に検出することができ、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 の位置精度をより一層向上させることができになる。

15

【0084】 本発明は上記実施形態に限定されない。例えば、上記実施形態は、加工対象物 1 の内部に多光子吸収による改質領域 7 を形成する場合であったが、本発明は様々なレーザ加工に適用可能であり、上記実施形態と同様に、加工対象物 1 を加工するためのレーザ光を所定の位置に精度良く集光することが可能である。

20

【0085】 また、上記実施形態は、集光点位置制御手段 4 0 が加工対象物 1 の表面 3 での測距用レーザ光の反射光 L 3 を検出する場合であったが、本発明はこれに限らない。例えば、加工対象物 1 の表面 3 での測距用レーザ光の反射光 L 3 と共に、加工対象物 1 の裏面（レーザ光照射面）1 7 での測距用レーザ光 L 2 の反射光を検出してよい。これにより、加工対象物 1 の表面 3 の変位と裏面 1 7 の変位とを測定することができ、よって、加工用対物レンズ 2 7 の集光レンズ 3 1 直下における加工対象物 1 の厚さを正確に求めることができる。したがって、例えば、加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 を加工対象物 1 の厚さの半分の位置

に合わせたり、加工対象物 1 の厚さの表面 3 側から $1/3$ の位置に合わせたりと
いうような集光点 P 1 の位置制御が可能になる。

【0086】 さらに、上記実施形態は、加工対象物 1 の表面 3 から一定の深さ
D の位置に加工用レーザ光 L 1 の集光点 P 1 を合わせる場合であったが、集光点
5 P 1 を合わせる位置を切断予定ラインに沿って変化させるような集光点 P 1 の位
置制御を行ってもよい。例えば、集光点 P 1 を合わせる位置を波線状に変化させ
たり、集光点 P 1 を合わせる位置の深さを途中で変えたりしてもよい。

産業上の利用可能性

【0087】 以上説明したように本発明に係るレーザ加工装置及びレーザ加工
10 方法によれば、加工対象物を加工するためのレーザ光を所定の位置に精度良く集
光することが可能になる。

請求の範囲

1. ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第1のレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工装置であって、

5 前記第1のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光する集光レンズと、

前記レーザ光照射面で反射された前記第2のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物の内部における前記第1のレーザ光の集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とするレーザ加工装置。

10 2. 前記レーザ光照射面は、前記加工対象物の前記集光レンズ側の表面であり、

前記集光点位置制御手段は、前記第1のレーザ光の集光点の位置が前記集光レンズ側の表面から一定の深さとなるように前記第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする請求の範囲第1項記載のレーザ加工装置。

15 3. 前記集光点位置制御手段は、前記集光レンズと前記加工対象物との距離を変化させることで、前記加工対象物の内部における前記第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とする請求の範囲第1項又は第2項記載のレーザ加工装置。

4. 前記第2のレーザ光の反射光の光路上には、前記第2のレーザ光の反射光を通過させ、前記レーザ光照射面で反射された前記第1のレーザ光の反射光を遮断するフィルタが設けられていることを特徴とする請求の範囲第1項～第3項のいずれか一項記載のレーザ加工装置。

20 5. 第1のレーザ光を照射して前記加工対象物を加工するレーザ加工装置であって、

前記第1のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光する集光レ

ンズと、

前記レーザ光照射面で反射された前記第2のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物に対する前記第1のレーザ光の集光点の位置を制御する集光点位置制御手段とを備えたことを特徴とするレーザ加工装置。

5 6. ウェハ状の加工対象物の内部に集光点を合わせて第1のレーザ光を照射し、前記加工対象物の内部に多光子吸収による改質領域を形成するレーザ加工方法であって、

前記第1のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、

10 前記レーザ光照射面で反射された前記第2のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物の内部における前記第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とするレーザ加工方法。

7. 第1のレーザ光を照射して前記加工対象物を加工するレーザ加工方法であつて、

15 前記第1のレーザ光と、前記加工対象物のレーザ光照射面の変位を測定するための第2のレーザ光とを同一の軸線上で前記加工対象物に向けて集光し、

前記レーザ光照射面で反射された前記第2のレーザ光の反射光を検出することにより、前記加工対象物に対する前記第1のレーザ光の集光点の位置を制御することを特徴とするレーザ加工方法。

20

図1

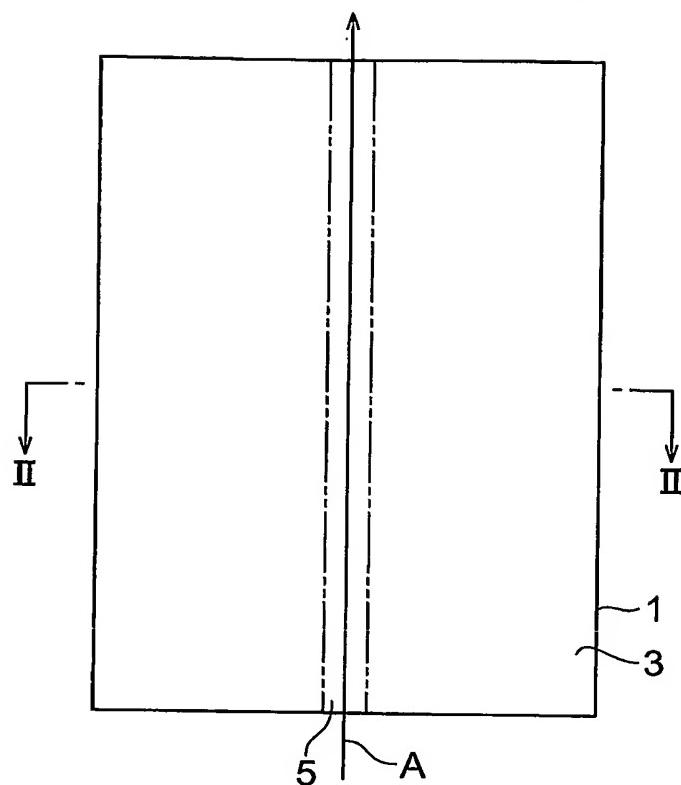


図2

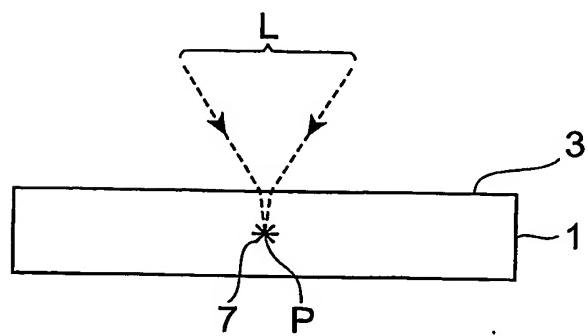


図3

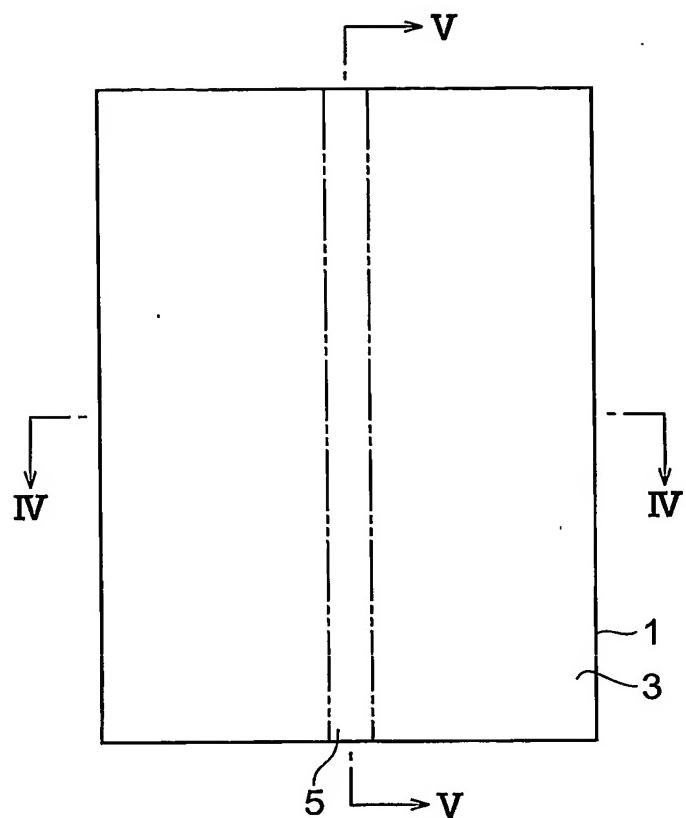


図4

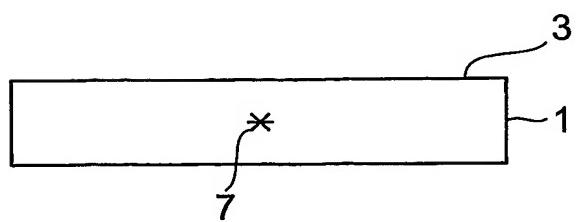


図5

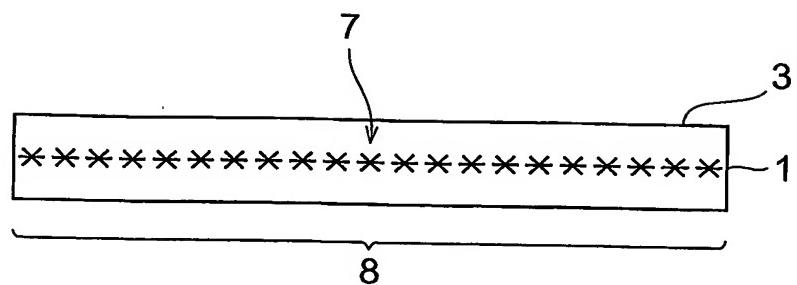
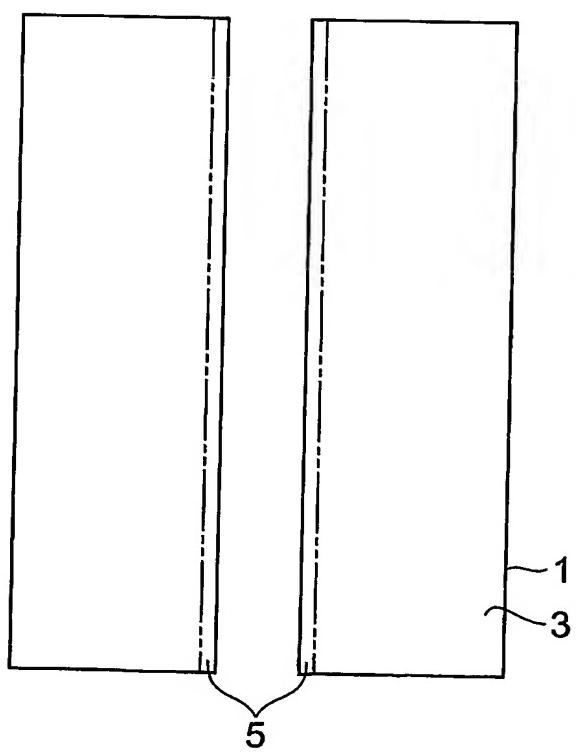


図6



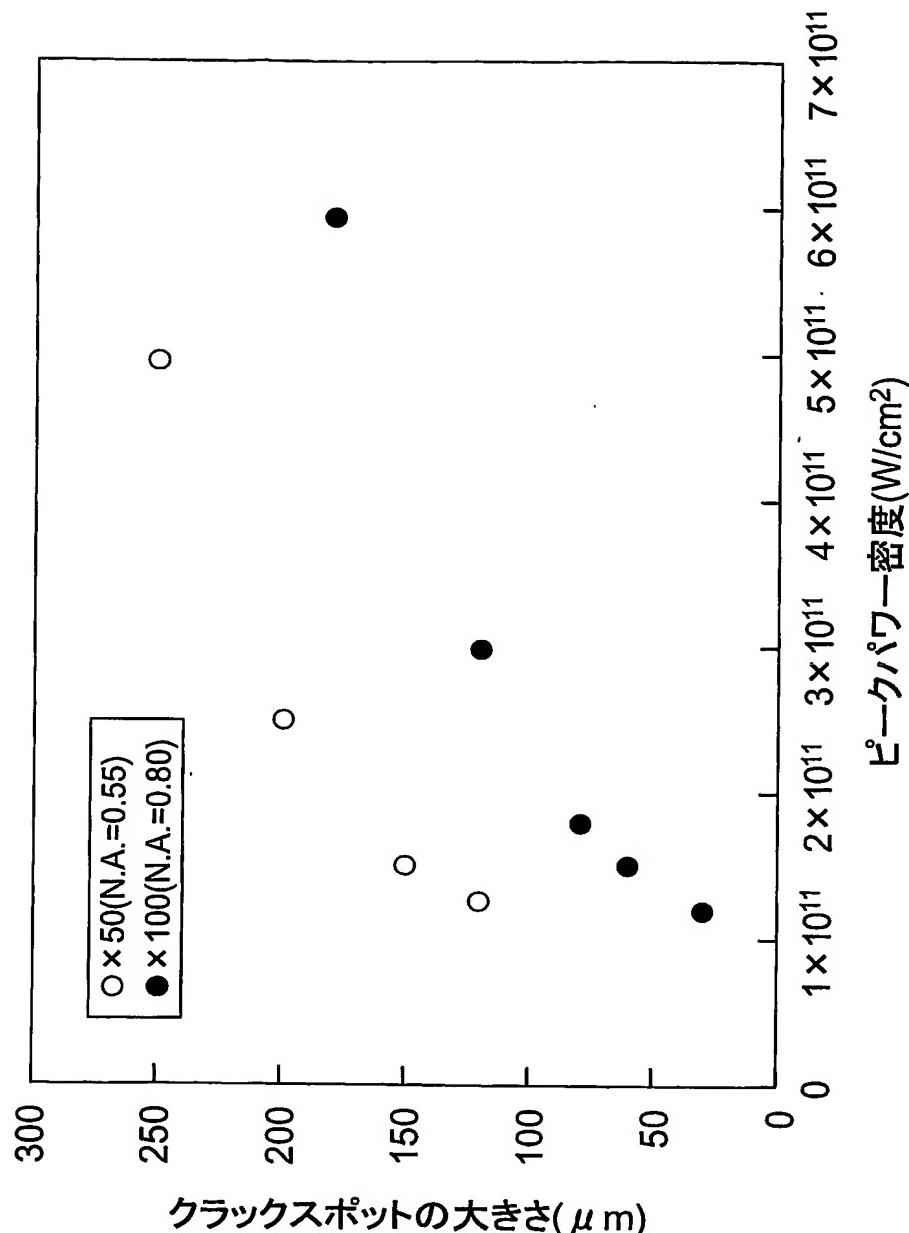


図7

図8

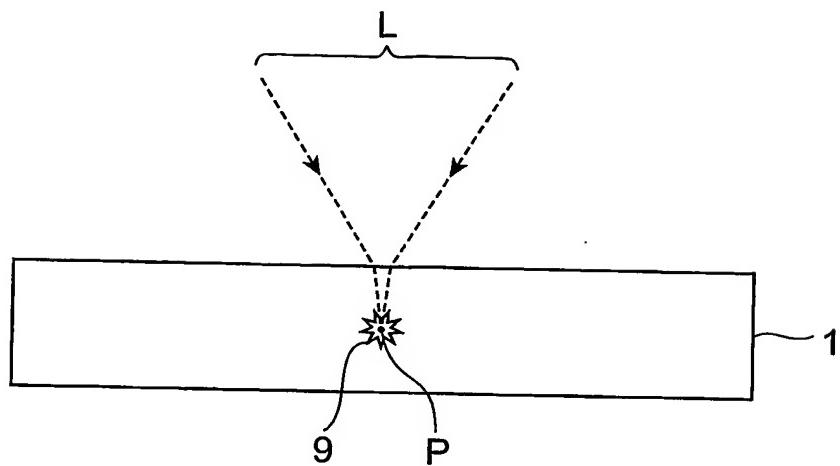


図9

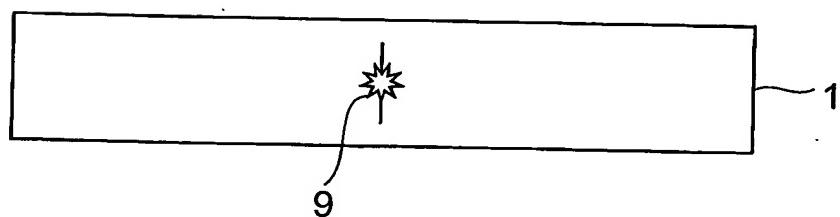


図10

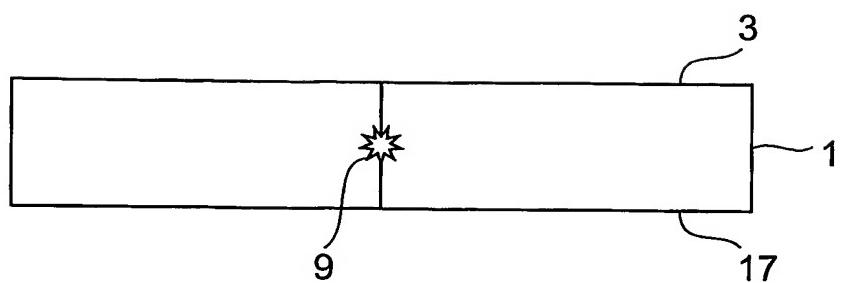


図11

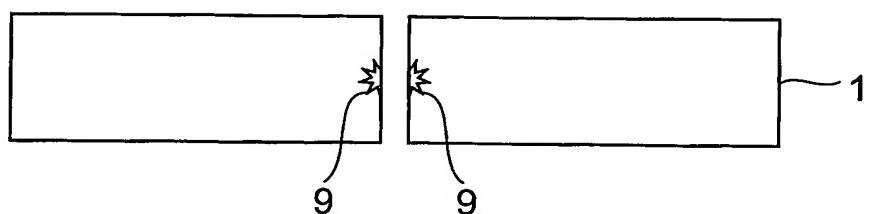


図12

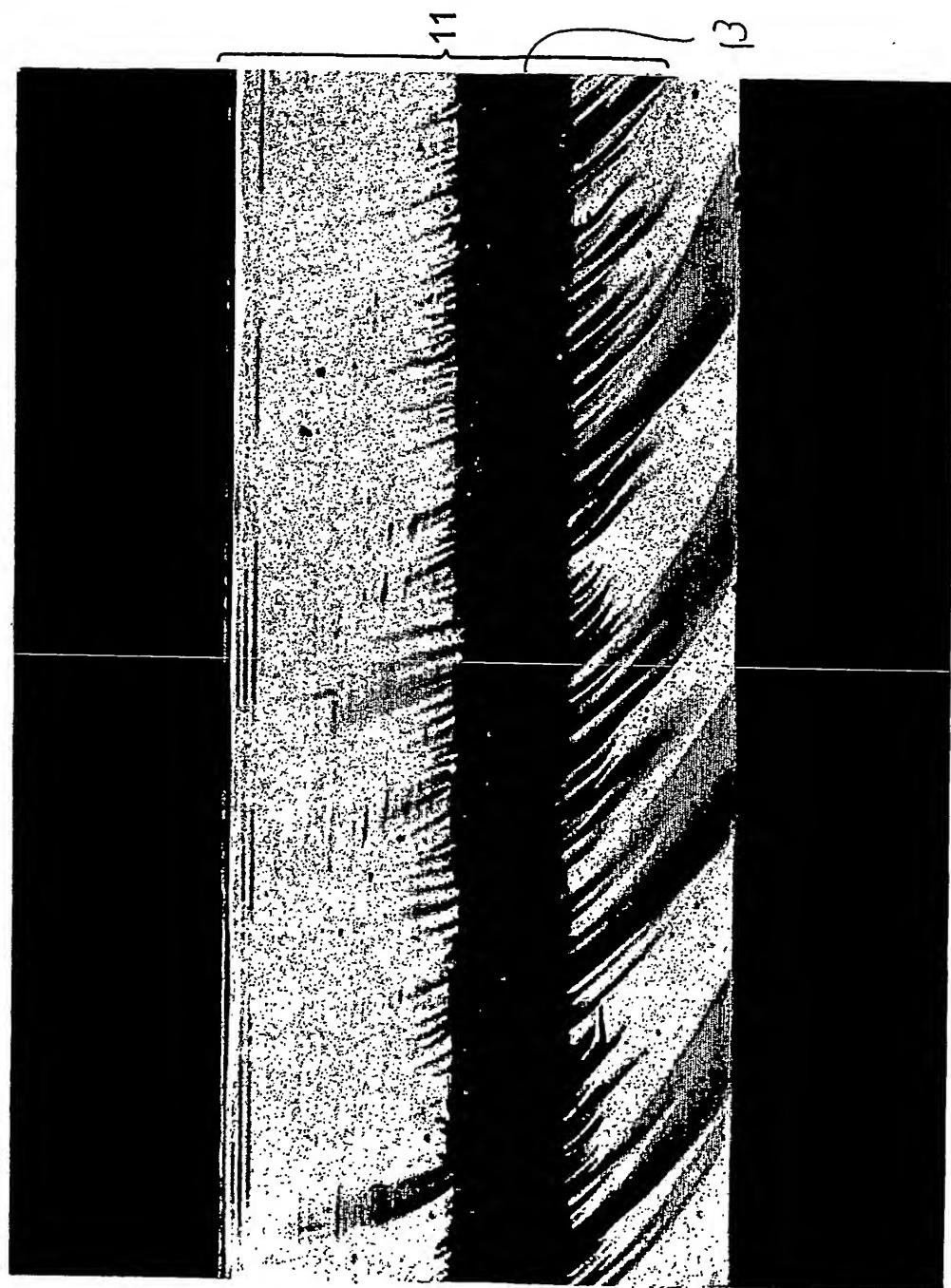


図13

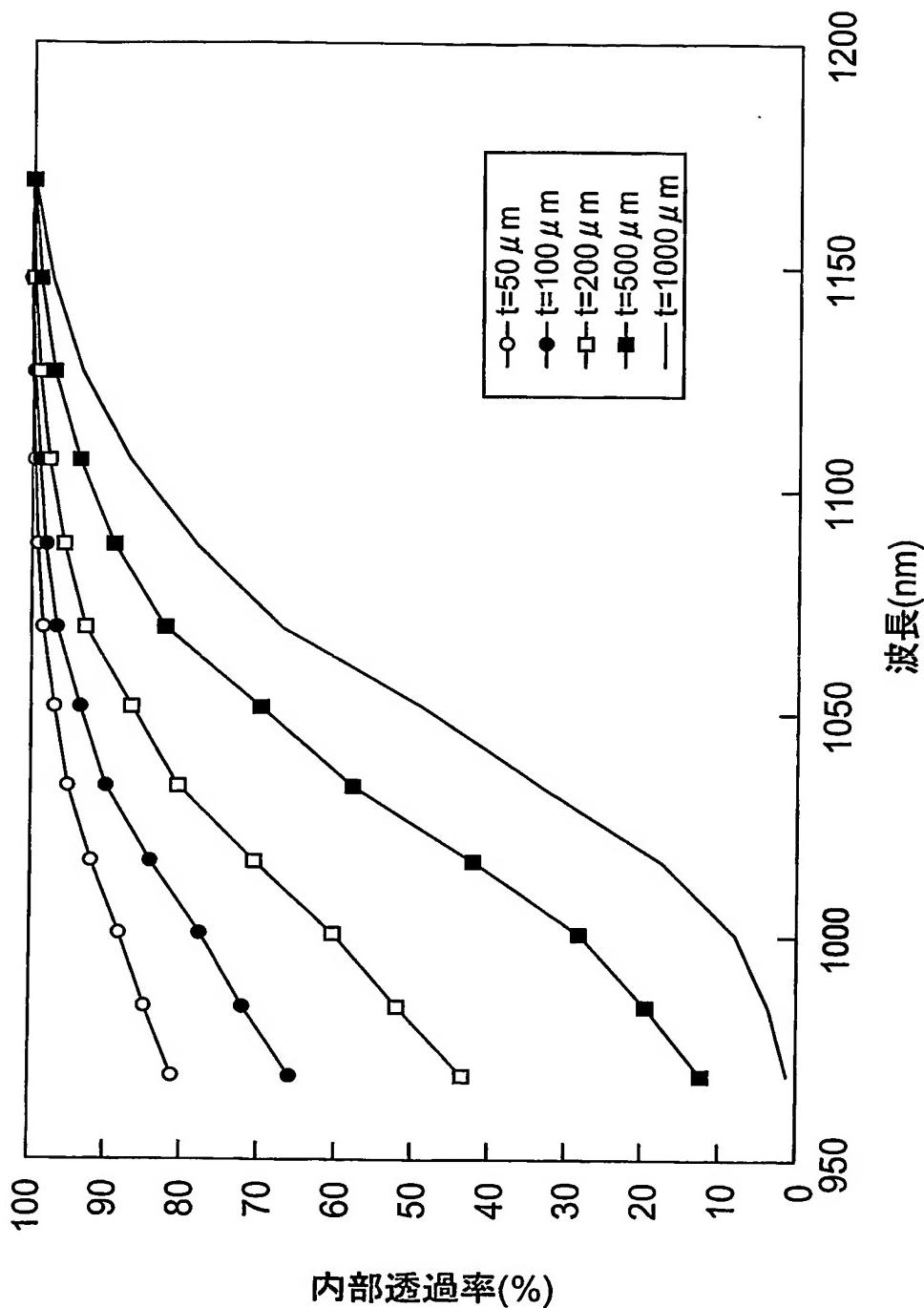
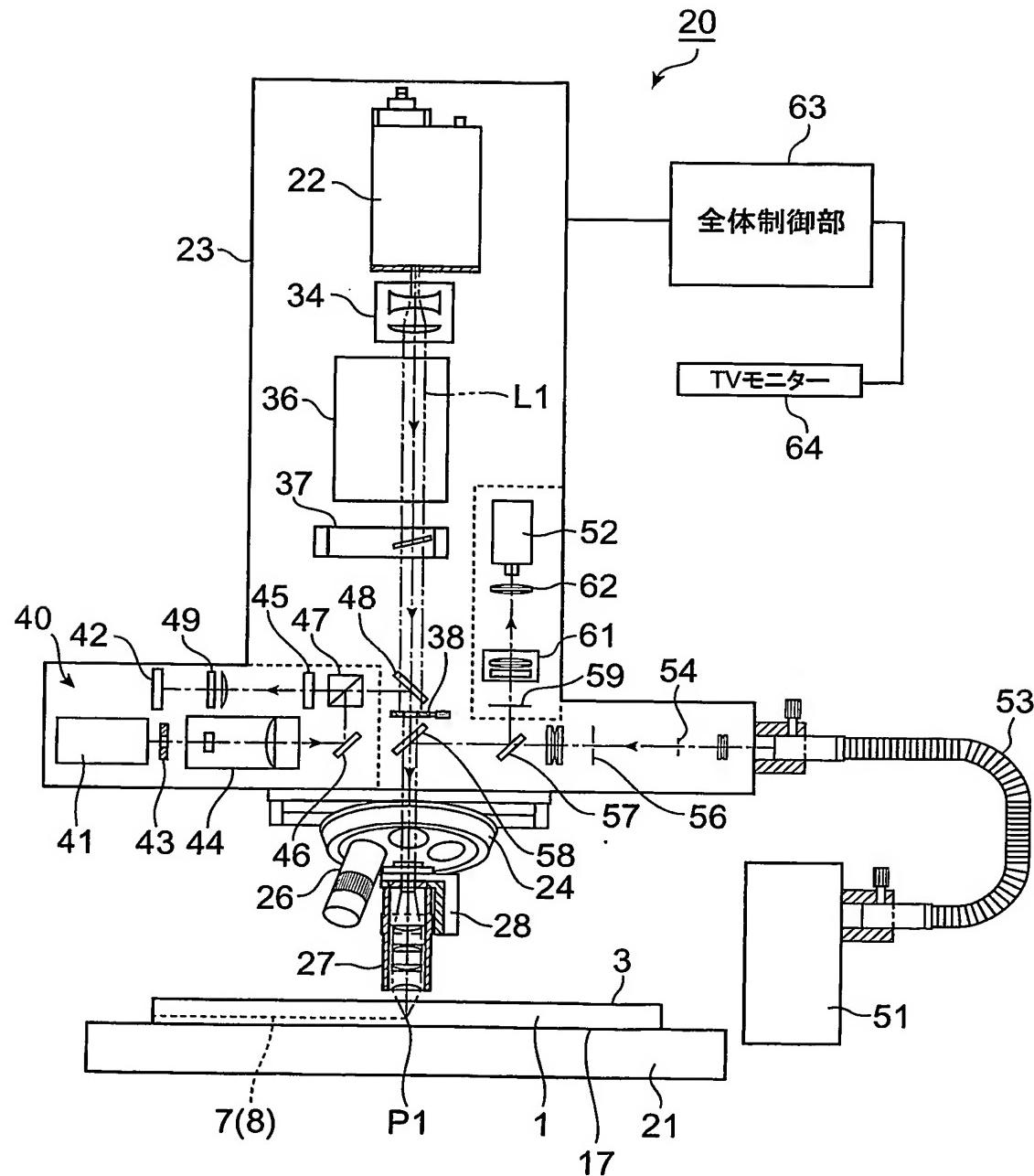
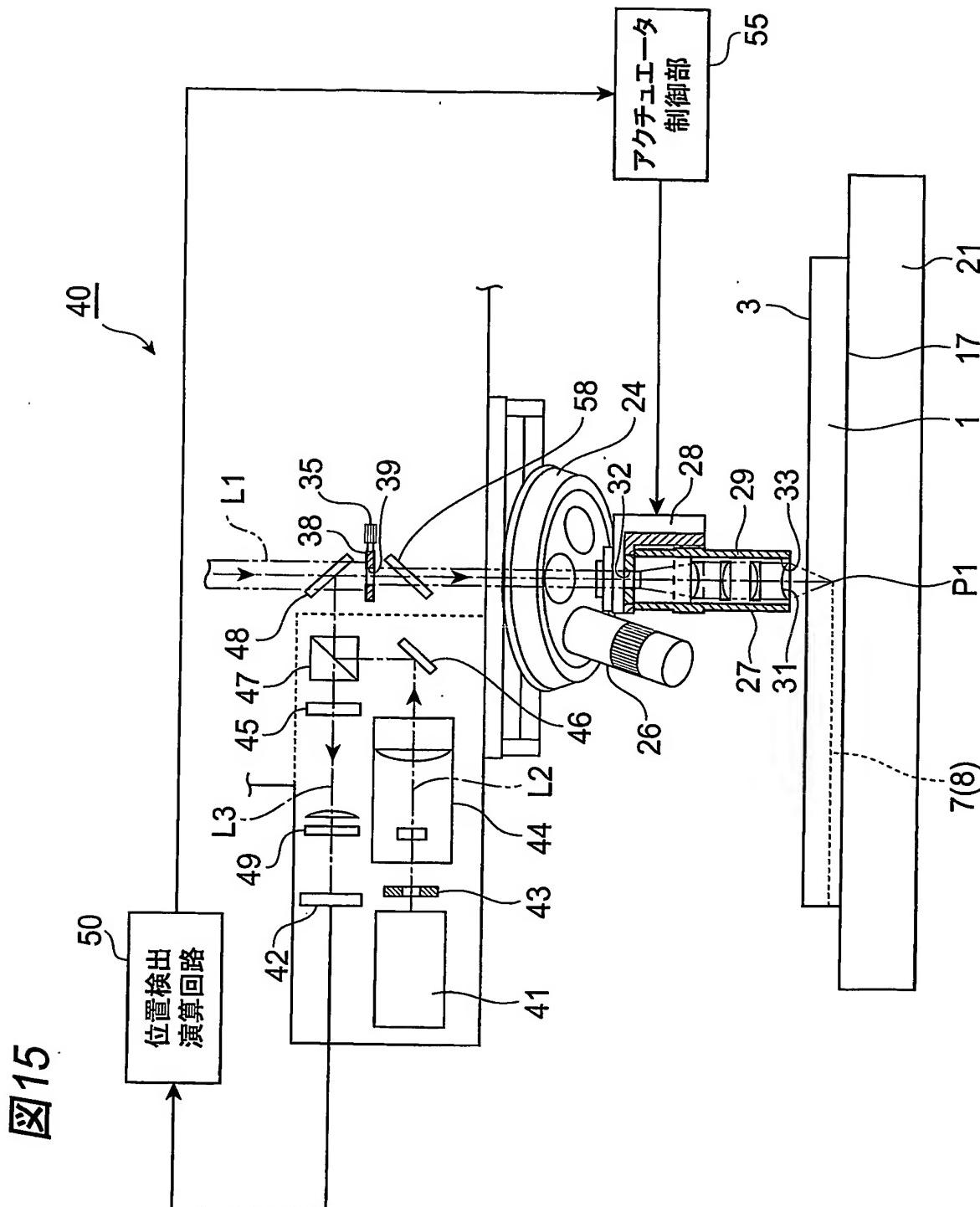
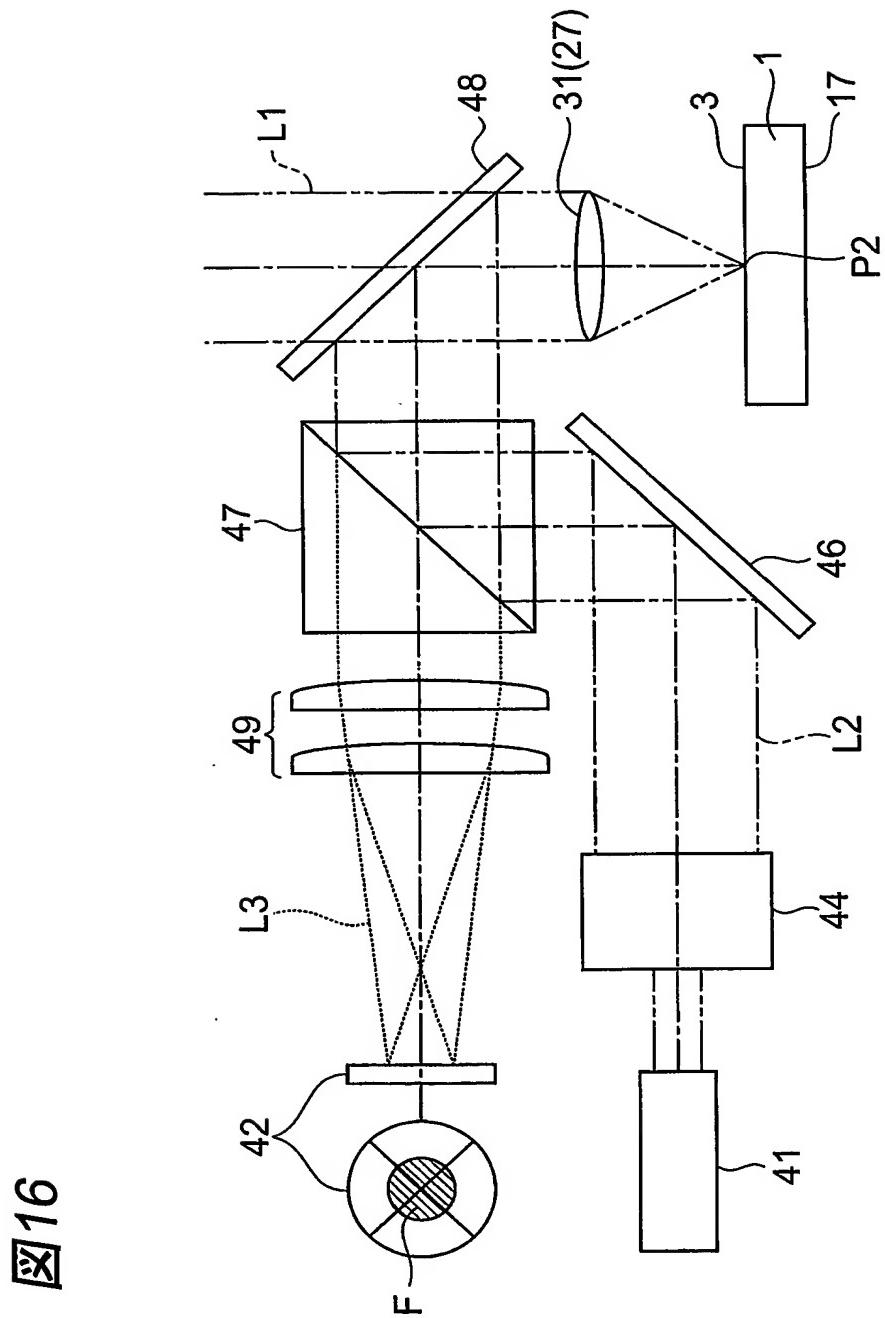
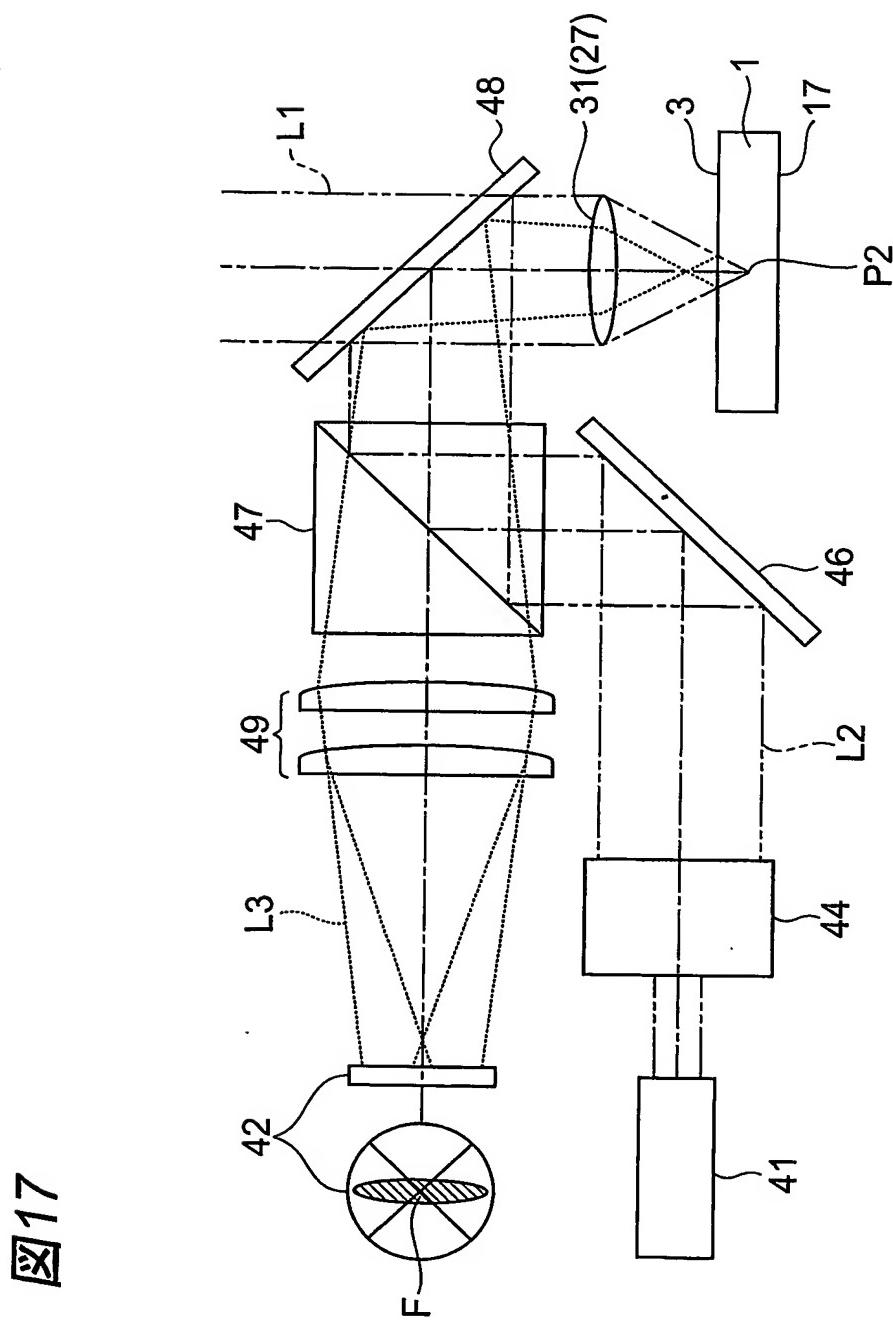


図14









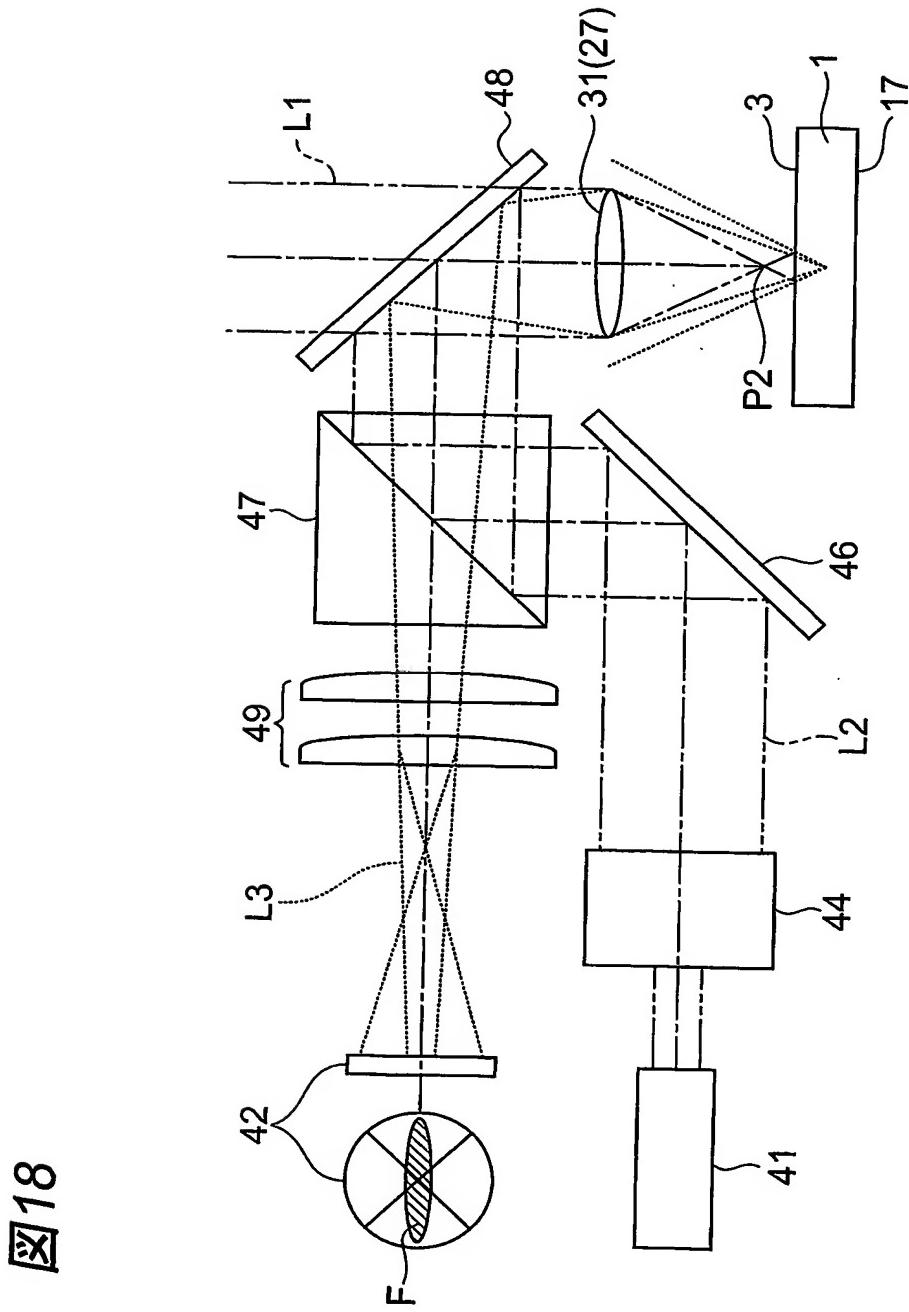
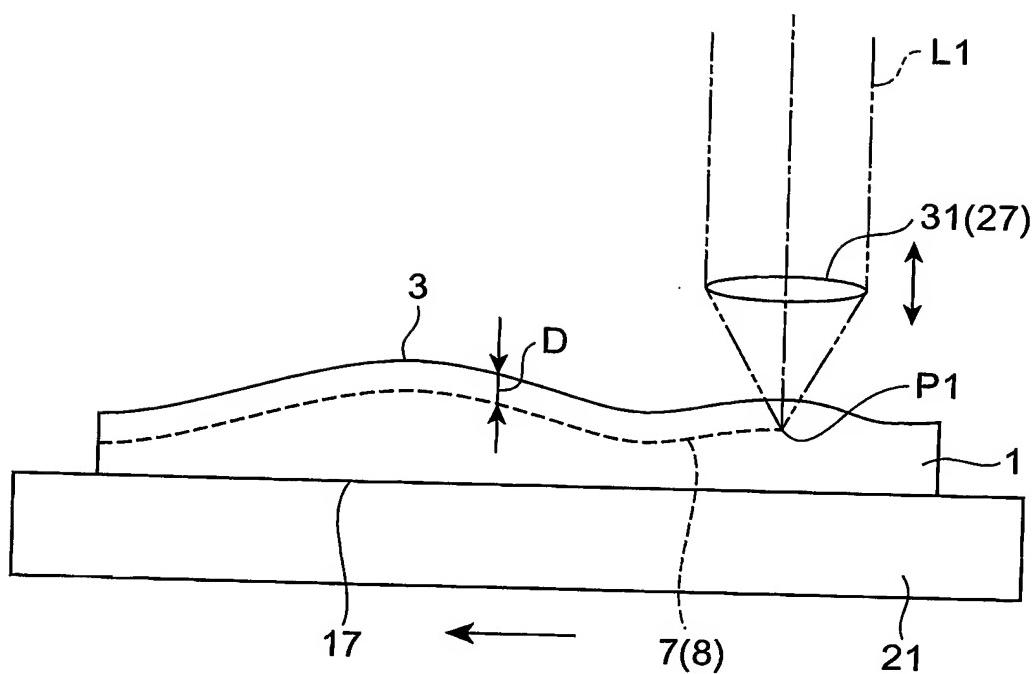


図19



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15556

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl⁷ B23K26/04, B28D5/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl⁷ B23K26/04, B28D5/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
 Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004
 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	EP 1338371 A1 (HAMAMATSU PHOTONICS KABUSHIKI KAISHA), 27 August, 2003 (27.08.03), Full text; all drawings & WO 02/22301 A1	<u>1-4, 6</u> <u>5, 7</u>
X Y	JP 2001-340979 A (Toyota Auto Body Co., Ltd.), 11 December, 2001 (11.12.01), Claims; detailed explanation of the invention; Par. Nos. [0021] to [0022], [0024] to [0028]; Figs. 2, 4 (Family: none)	<u>5, 7</u> <u>1-4, 6</u>
X Y	JP 2000-84688 A (Toyota Motor Corp.), 28 March, 2000 (28.03.00), Full text; all drawings (Family: none)	<u>5, 7</u> <u>1-4, 6</u>

Further documents are listed in the continuation of Box C. See patent family annex.

* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family
---	--

Date of the actual completion of the international search 04 March, 2004 (04.03.04)	Date of mailing of the international search report 23 March, 2004 (23.03.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office	Authorized officer
Facsimile No.	Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/15556

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 11-104873 A (Nikon Corp.), 20 April, 1999 (20.04.99), Claims; detailed explanation of the invention; Par. Nos. [0012], [0014] to [0017]; Figs. 1 to 4 (Family: none)	5, 7 1-4, 6
X Y	JP 9-19784 A (NEC Corp.), 21 January, 1997 (21.01.97), Claims; detailed explanation of the invention; Par. Nos. [0017] to [0019]; Figs. 1 to 2 (Family: none)	5, 7 1-4, 6
A	Kiyotaka MIURA, Kazuyuki HIRAO, "Femto-byo Laser Shosha ni yoru Garasu Naibu eno Hikari Yuki Kozo Keisei", Dai 42 Kai Proceedings of Laser Materials Processing Conference, 1997, pages 105 to 111; ISBN:4-947684-15-1	1-7
A	Ken'ichi HAYASHI, "Kotai Laser Koshuha ni yoru Garasu Kiban eno Naibu Marking", Dai 45 Kai Proceedings of Laser Materials Processing Conference, 1998, pages 23 to 28, ISBN:4-947684-21-6	1-7
A	Tomokazu SANO, Shinsuke ASADA, Yoshiaki SHINJO Isamu MIYAMOTO, "Pico-byo Pulse Laser ni yoru Silicon no Kako Tokusei Hyoka -Tan-Pulse-Tanhacho Laser ni yoru Denshi Zairyō no Seimitsu Bisai Kako (first report)-, 2000, pages 72 to 73	1-7
A	Shuji TAKAOKA, "Gokuusu Handotai Wafer no Dicing ni Saiteki na Steals Dicing Gijutsu no Génri to Tokuchō", Denshi Zairyō, 01 September, 2002 (01.09.02), pages 17 to 21	1-7

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP03/15556

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' B23K26/04, B28D5/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl' B23K26/04, B28D5/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2004年
日本国実用新案登録公報	1996-2004年
日本国登録実用新案公報	1994-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y A	EP 1338371 A1 (HAMAMATSU PHOTONICS K. K.) 2003. 08. 27, 全文, 全図 & WO 02/22301 A1	1-4, 6 5, 7
X Y	JP 2001-340979 A (トヨタ車体株式会社) 2001. 12. 11, 特許請求の範囲, 発明の詳細な説明【0021】 - 【0022】 , 【0024】 - 【0028】 , 第2, 4図 (ファミリーなし)	5, 7 1-4, 6
X Y	JP 2000-84688 A (トヨタ自動車株式会社) 2000. 03. 28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	5, 7 1-4, 6

 C欄の続きにも文献が列挙されている。 パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

- 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
- 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
- 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
- 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
- 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

- 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
- 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
- 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
- 「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 04.03.04	国際調査報告の発送日 23.3.2004
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/JP) 郵便番号 100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目 4番 3号	特許庁審査官 (権限のある職員) 加藤 昌人 電話番号 03-3581-1101 内線 3362  3P 9257

國際調查報告

国際出願番号 PCT/JP03/15556

C (続き)	関連すると認められる文献	関連する 請求の範囲の番号
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	
X Y	JP 11-104873 A(株式会社ニコン)1999.04.20, 特許請求の範囲, 発明の詳細な説明【0012】 , 【0014】 - 【0017】 , 第1-4図 (ファミリーなし)	5, 7 1-4, 6
X Y	JP 9-19784 A(日本電気株式会社)1997.01.21, 特許請求の範囲, 発明の詳細な説明【0017】 - 【0019】 , 第1-2図 (ファミリーなし)	5, 7 1-4, 6
A	三浦清貴・平尾一之, フェムト秒レーザー照射によるガラス内部への光誘起構造形成, 第42回レーザ熱加工研究会論文集, 1997, P105-111, ISBN:4-947684-15-1	1-7
A	林 健一, 固体レーザー高調波によるガラス基板への内部マーキング, 第45回レーザ熱加工研究会論文集, 1998, P23-28, ISBN:4-947684-21-6	1-7
A	佐野智一, 浅田晋助, 新城嘉昭, 宮本勇, ピコ秒パルスレーザによるシリコンの加工特性評価—短パルス・短波長レーザによる電子材料の精密微細加工（第1報）—, 2000, P72-73	1-7
A	高岡秀嗣, 極薄半導体ウェハのダイシングに最適なステルスダイシング技術の原理と特徴, 電子材料, 2002.09.01, P17-21	1-7